

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ КАНАТА МОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ РАЗЛИЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Выполнено сравнение силы натяжения несущее-тягового каната мобильной канатной дороги в случае ее исполнения как подвесной канатной дороги или как буксировочной канатной дороги.

Ключевые слова: мобильная канатная дорога, подвесная канатная дорога, буксировочная канатная дорога, несущее-тяговый канат, сила натяжения.

THE ROPE TENSION FORCE COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT MOBILE ROPEWAYS

The comparison of the carrier-traction rope tension force of the mobile ropeway in the case of its execution as a aerial ropeway or as a towing ropeway is under consideration in this article.

Keywords: mobile ropeway, aerial ropeway, towing ropeway, carrier-traction rope, tension force.

Для заготовки древесины в труднодоступных местах широкое распространение получили мобильные буксировочные канатные дороги (МБКД) [1]. Наиболее простой вариант МБКД имеет много общего с грузоподъемными кранами. Только спиленные деревья перемещаются лебедкой не в воздухе, а буксируются грузовым канатом по опорной поверхности. Следует отметить, что для грузоподъемных кранов такой режим работы запрещен, так как может спровоцировать потерю общей устойчивости крана при резком увеличении динамических нагрузок или при зацеплении груза за препятствие. Чтобы снизить влияние этих негативных факторов максимальная грузоподъемность МБКД сравнительно ниже, чем у грузоподъемных кранов. Более совершенный вариант МБКД предполагает натяжение несущего каната между головной и тыловой мачтой. На этом канате закреплена механизированная тележка, на захвате которой за один конец крепится срубленное дерево. Другой конец дерева при движении соприкасается с опорной поверхностью. Механизированная тележка перемещается в маятниковом режиме. Более сложные системы с отдельными несущими и тяговыми канатами не нашли широкого применения.

Известны научные концепции создания мобильных подвесных канатных дорог (МПКД) [2, 3]. МПКД могут быть использованы для оперативной организации перевозки грузов и пассажиров в труднодоступной местности и через различные

преграды. Однако в настоящий момент научные основы проектирования таких машин отсутствуют [4–6]. Необходимо решить вопросы рационального размещения оборудования МПКД, выбора конструкции канатной системы, создания надежных механизмов погрузки и разгрузки, обеспечения общей устойчивости мобильных базовых станций МПКД.

Очевидно, что нагруженность канатной системы МПКД выше, чем у МБКД, так как вес груза полностью воспринимается несущее-тяговым канатом [4]. Результаты количественного сравнительного анализа нагруженности МБКД и МПКД приведены в данной работе.

Расчетные схемы для определения нагруженности мобильных канатных дорог приведены на рис. 1.

Далее для удобства сравнительного анализа значения одинаковых величин для различных видов канатных дорог обозначим индексом, соответствующим рис. 1. Например, T_6 — сила натяжения каната для варианта, показанного на рис. 1, б.

Положение груза в пролете канатной дороги определяется координатой x . В системе действуют следующие силы: сила натяжения несущее-тягового каната T , сила тяжести груза G , сила трения груза об опорную поверхность R , сила тяги лебедки F .

Оценка нагруженности канатной системы МПКД выполнена по величине силы натяжения

несуще-тягового каната T , которое складывается из двух компонентов:

$$T = T_0 + T_n,$$

где T_0 — начальное усилие натяжения каната, T_n — усилие натяжения каната, определяемое эксплуатационными нагрузками.

В упрощенном виде усилия натяжения каната для различных вариантов канатных дорог определяются следующим образом:

$$T_a = \frac{fmg}{\cos \alpha_a} + \frac{mg}{\sin \alpha_a}, \quad T_6 = \frac{mgk_G}{\sin \alpha_6}, \quad T_b = \frac{mg}{\sin \alpha_b},$$

где m — масса груза, f — коэффициент трения груза об поверхность, α — угол наклона несуще-тягового каната, k_G — коэффициент распределения силы тяжести между канатом и опорным основанием (определяется как соотношение силы реакции на механизированной тележке к силе тяжести груза G).

Углы наклона каната для различных вариантов канатных дорог определяются следующим образом:

$$\alpha_a = \arctg\left(\frac{H}{L}\right), \quad \alpha_6 = \alpha_b = \arctg\left(\frac{(H-h)}{L}\right),$$

где H — высота головной мачты, h — высота тыловой мачты, L — длина пролета мобильной канатной дороги.

Для вариантов, показанных на рис. 1, б, в силу натяжения более точно можно вычислить следующим образом, при этом учитывается прогиб каната под действием силы тяжести груза и его текущее положение в пролете:

$$T_6 = \max \left[\frac{mgk_G \cos(\beta_{16})}{\cos^2(\beta_{16}) - \cos(\beta_{26})}, \frac{mgk_G c \cos(\beta_{26})}{\cos^2(\beta_{16}) - \cos(\beta_{26})} \right],$$

$$T_b = \max \left[\frac{mg \cos(\beta_{1b})}{\cos^2(\beta_{1b}) - \cos(\beta_{2b})}, \frac{mg c \cos(\beta_{2b})}{\cos^2(\beta_{1b}) - \cos(\beta_{2b})} \right].$$

При этом углы ориентации ветвей каната

$$\beta_{16} = \alpha + \arcsin \left[\frac{mgk_G \cos \alpha}{c(L-x)} \right],$$

$$\beta_{26} = \alpha - \arcsin \left[\frac{mgk_G \cos \alpha}{\bar{\sigma}} \right],$$

$$\beta_{1b} = \alpha + \arcsin \left[\frac{mg \cos \alpha}{c(L-x)} \right],$$

$$\beta_{2b} = \alpha - \arcsin \left[\frac{mg \cos \alpha}{\bar{\sigma}} \right],$$

где c — изгибная жесткость несуще-тягового каната.

С использованием данных выражений сравним количественные значения силы натяжения каната для мобильной канатной дороги со следующими параметрами $L = 50$ м, $H = 6$ м, $h = 4$ м, $x = 0,25L$, $m = 200$ кг, $k_G = 0,5$, $f = 0,05$, $c = 100$ кН/м, $T_0 = 0$ Н. Были получены следующие значения силы натяжения канатов $T_a = 16,6$ кН, $T_6 = 19,9$ кН, $T_b = 39,5$ кН.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Теоретически установлено, что наибольшие силы натяжения каната характерны для МПКД (39,5 кН). Для МБКД с подвесным канатом величина силы натяжения существенно зависит от значения коэффициента k_G . При равномерном

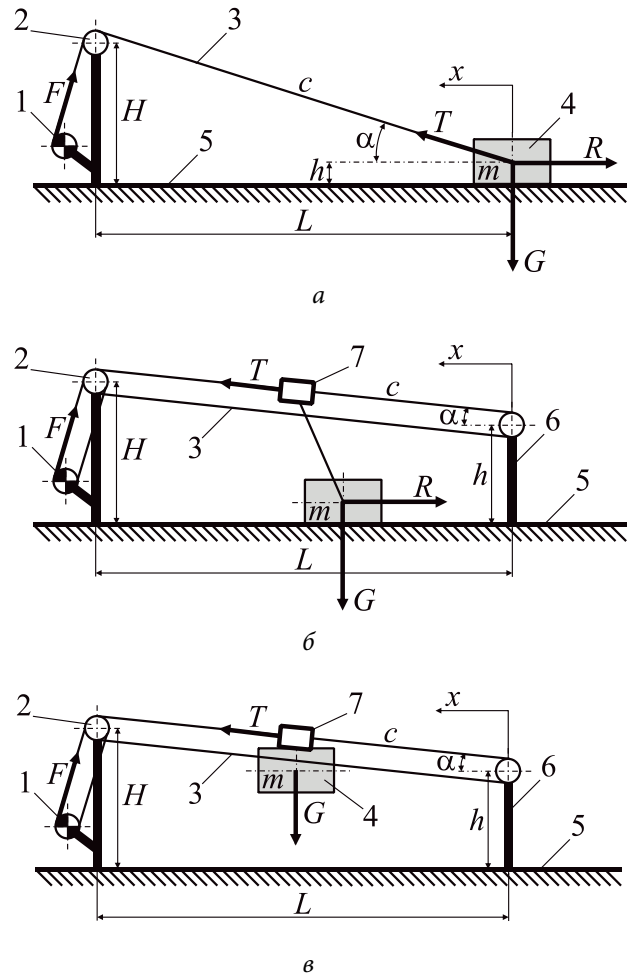


Рис. 1. Расчетные схемы для определения нагруженности мобильных канатных дорог: а — МБКД (вариант грузоподъемного крана); б — МБКД с подвесным канатом; в — МПКД; 1 — лебедка; 2 — головная мачта; 3 — грузовой канат; 4 — транспортируемый груз; 5 — опорная поверхность; 6 — тыловая мачта; 7 — механизированная тележка

распределении нагрузки между механизированной тележкой и опорной поверхностью сила натяжения практически в два раза ниже, чем у МПКД (19,9 кН). Наименьшая сила натяжения характерна для МБКД (16,6 кН).

2. В ходе дальнейших исследований необходимо учесть влияние силы натяжения и конструкции

опор на изгибную жесткость каната, а также выполнить сравнительный анализ изменения силы натяжения каната в зависимости от текущего положения груза в пролете, значений коэффициентов f и k_c , начального натяжения каната.

Список литературы

1. Колодий П. В. Технологические особенности использования мобильных канатных установок на рубках главного пользования в ольховых насаждениях / П. В. Колодий, А. А. Левчугова // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2015. — Вып. 49. — С. 16–19.
2. Пат. № 2337023 Рос. Федерация, МПК7 В61В 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / А. А. Короткий, М. Н. Хальфин, В. Б. Маслов и др. ; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр “Мысль” НГТУ. № 2007102705/11 ; заявл. 24.01.2007 ; опубл. 27.10.2008.
3. Лагереv И. А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати / И. А. Лагереv, В. И. Таричко, С. П. Солдатченков, Д. А. Игнатов // Науч.-техн. вестн. Брянск. гос. ун-та. — 2019. — № 2. — С. 221–230. — DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230.
4. Лагереv А. В. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» / А. В. Лагереv, И. А. Лагереv, А. А. Короткий, А. В. Панфилов // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. — 2012. — № 3. — С. 12–15.
5. Лагереv А. В. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог / А. В. Лагереv, В. И. Таричко, С. П. Солдатченков // Науч.-техн. вестн. Брянск. гос. ун-та. — 2019. — № 2. — С. 210–220.
6. Вершинский А. В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов / А. В. Вершинский, И. А. Лагереv, А. Н. Шубин, А. В. Лагереv. — Брянск : РИО БГУ, 2015. — 210 с. — ISBN 978-5-9734-0218-1.